



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Artjom Nikolajev**

**PRISMA KIIRLEIDMINE TAHHÜMEETRI  
EEMALTJUHTIMISEL**

**QUICK PRISM FINDING BY OPERATING TOTAL STATION  
REMOTELY**

Bakalaureusetöö  
Geodeesia, kinnisvara- ja maakorralduse õppekava

Juhendaja: Harli Jürgenson, *PhD*

Tartu 2021

|   |               |  |            |
|---|---------------|--|------------|
| Eesti Maaülikool  |               | Bakalaureusetöö lühikokkuvõte                                |            |
| Kreutzwaldi 1, Tartu 51014  |               |  |            |
| Autor: Artjom Nikolajev   |               | Õppekava: Geodeesia, maakorraldus ja kinnisvara planeerimine |            |
| Pealkiri: Prisma kiirleidmine tahhümeetri eemaltjuhtimisel  |               |  |            |
| Lehekülgi: 36   | Jooniseid: 26 | Tabeleid: 1  | Lisasid: 3 |
| Osakond / Õppetool: Geomaatika õppetool   |               |  |            |
| ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: : 4. Loodusteadused ja tehnika Geodeesia (P515)   |               |  |            |
| Juhendaja(d): Harli Jürgenson   |               |  |            |
| Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021  |               |  |            |
| <p>Tänapäeval on geodeetiliste tööde käigus mõõtmiste kiirus muutunud mitte vähem oluliseks kui mõõtmiste täpsus. Teiseks on tähtis võimalus mõõta üksinda. Tihtipeale juhtub selline olukord, kui geodeet või maamõõtja kulutavad palju aega prisma otsimisele, kui ühendus tahhümeetri ja prisma vahel kaob ära. Seega paljud geodeetiliste instrumentide potentsiaalsed ostjad pööravad just kiirustegurile tähelepanu.</p> <p>Uurimistöö eesmärk oli välja selgitada Topcon GT Series, Trimble S6 ja Leica TS16 tahhümeetrile prisma kiireleidmise võimalused.</p> <p>Uurimismetoodikaks olid praktilised mõõtmised, kus mõõdeti aega prismale lukustumiseni. Valitud testpunktid paiknesid tahhümeetril erinevatel kaugustel: 2 m, 10m ja 25m. Igas punktis mõõdeti prisma otsimise ja automaatsuunamise kiirust kolm korda, sõltuvalt tahhümeetri okulaari pöördenurgast seisupunktis (0°, 90° ja 180°). Kiirust mõõdeti stopperiga ehk stopperi abil saavutati ajaandmed, mille põhjal selgus, mis tahhümeeter on kõige kiirem prisma leidmisel. Mõõtmised viidi läbi autori poolt Tallinnas ja Tartus. Testpunktid valiti lagedal ja tasapinnalisel alal, et takistavate objektide mõju vähendada. Mõõtmised tehti kahe erineva automatiseeritud tahhümeetriga: Topcon GT Series ja Trimble S6. Selgus, et tahhümeetril kulub prisma otsimisele GPS abil umbes 5-13 sekundit, sõltuvalt tahhümeetri asendist.</p> |               |  |            |
| Märksõnad: Geodeesia, prisma, kiirleidmine, tahhümeeter   |               |  |            |

|   |             |   |               |
|---|-------------|---|---------------|
| Estonian University of Life Sciences<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51014  |             | Abstract of Bachelor's Thesis                               |               |
| Author: Artjom Nikolajev  |             | Curriculum: Land Surveying, Property and<br>Land Management |               |
| Title: Quick prism finding by operating total station remotely  |             |   |               |
| Pages: 36   | Figures: 26 | Tables: 1   | Appendixes: 3 |
| Department / Chair: Geomatics<br>Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering, Geodesy (P515)<br>Supervisors: Harli Jürgenson<br>Place and date: Tartu 2021   |             |   |               |
| <p>Today, in the course of geodetic work, the speed of measurements has become no less important than the accuracy of measurements. Most important is remote control. It often happens when a surveyor spends a lot of time searching for a prism when the connection between the total station and the prism is lost. In this way, the speed factor becomes very important when many potential buyers start searching for the most efficient instrument.</p> <p>The aim of the research was to find out the possibilities of prism quick finding by using Topcon GT Series, Trimble S6 and Leica TS16 total stations.</p> <p>The research methodology were test measurements where time was analized. Chosen test points were located at different distances from the total station: 2 m, 10 m and 25 m. Each point was measured three times, depending on the angle of rotation of the total station's eye (0 °, 90 ° and 180 °). At the same time, a stopwatch was used to fix the time of prism locking. Thanks to the data obtained from the stopwatch, it was possible to find out which total station and technology were the fastest in finding prism. Measurements were carreid out in Tallinn and Tartu and were performed by the author. Test points were selected in an open and flat area to reduce the effect of obstructions. The measurements described earlier were made by two different total stations: Topcon GT Series and Trimble S6. As results, tracking times from 5 to 13 seconds were achived.</p> |             |   |               |
| Keywords: Geodesy, land survey, finding, prism, total station   |             |   |               |

# SISUKORD

|   |    |
|---|----|
| LÜHENDITE LOETELU.....  | 6  |
| SISSEJUHATUS .....  | 7  |
| 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE JA METOODIKA.....                              | 8  |
| 1.1. Automatiseeritud tahhümeetrite ajalugu .....                     | 8  |
| 1.2. Automatiseeritud tahhümeetrite sidelahendused .....              | 11 |
| 1.3. Prismale suunamise meetodid .....                                | 16 |
| 1.4. Integreeritud mõõtmine.....                                      | 16 |
| 1.5. GPS search .....   | 16 |
| 1.6 Suunamine nooltega (joystick).....                                | 17 |
| 1.7. Suunamine Leica Powersearch meetodil .....                       | 18 |
| 1.8. Suunamine Topcon RC-5 seadme abil.....                           | 19 |
| 1.9. Meetodi kirjeldus.....   | 20 |
| 2. MATERJALID JA TULEMUSED .....                                      | 22 |
| 2.1. Kasutatud instrumentid .....                                     | 22 |
| 2.2. Automaatsuunamise testid .....                                   | 26 |
| 2.3. Tulemused .....  | 28 |
| 2.4. ARUTELU .....  | 30 |
| KOKKUVÕTE .....   | 31 |
| KASUTATUD KIRJANDUS .....   | 33 |
| Lisa 1. Topcon Hybrid Positioning Technology spetsifikatsioonid. .... | 36 |
| Lisa 2. Leica TS16 laseri spetsifikatsioonid. ....                    | 37 |
| Lihtlitsents .....  | 38 |

## LÜHENDITE LOETELU

|      |  |
|------|--|
| EDM  | - <i>Electronic distance measurement</i> (inglise keeles)<br>Elektrooniline kauguse mõõtmine (eesti keeles)    |
| ATR  | - <i>Automatic target locking</i> (inglise keeles)<br>Automaatne sihtmärgi lukustamine (eesti keeles)          |
| RTS  | - <i>Robotic total station</i> (inglise keeles)<br>Automatiseeritud/ Robotiseeritud tahhümeeter (eesti keeles) |
| UDS  | - <i>User Definable Sequences</i> (inglise keeles)<br>Kasutaja määratletavad järjestused (eesti keeles)        |
| RPU  | - <i>Remote Positioning Unit</i> (inglise keeles)<br>Kaugpositsioneerimisseade (eesti keeles)                  |
| CCD  | - <i>Charge-coupled device</i> (inglise keeles)<br>CCS-sensor (eesti keeles)                                   |
| CMOS | - <i>Complementary metal–oxide–semiconductor</i> (inglise keeles)<br>CMOS-sensor (eesti keeles)                |

# SISSEJUHATUS

Tänapäeval on prisma kiirleidmise tähtsus muutunud geodeetidel tahhümeetriga üksi töötades üha olulisemaks aspektiks mõõdistusseadmete valimisel. Sõltumata sellest, millist tahhümeetrit kasutatakse, esineb välitöödel alati juhtumeid, kus side tahhümeetri ja prisma vahel kaob ära. Selle vältimiseks pakuvad erinevad geodeetilisi instrumente tootvad ettevõtted uusi seadmeid ja tehnoloogiaid, mis võimaldavad töö kiirust suurendada.

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada Topcon GT Series, Trimble S6 ja Leica TS16 tahhümeetrite prisma kiirleidmise võimalused. Samuti teha kindlaks, milline oleks kõige kiirem tahhümeeter prisma kiirleidmisel eemaltjuhtimisel. Mõõtmistel osalesid järmised seadmed ja tehnoloogiad: tahhümeeter Topcon GT Series ja Topcon HiPer SR GPS vastuvõtja, tehnoloogiaga Hybrid Positioning; tahhümeeter Trimble S6 ja R8s GNSS vastuvõtja.

Autoril on selle töö vastu individuaalne huvi, kuna on korduvalt puutunud prisma kaotamise probleemiga kokku välitöödel. Mõõtmiste läbiviimiseks valiti kolm erinevat tahhümeetri okulaari asendit ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ja  $180^\circ$ ) ja kolm erinevat kaugust (2m, 10m ja 25m) otsiva prisma suhtes. Prisma otsimisele läinud aega mõõdeti tavalise stopperiga. Stopperi abil korjatud andmete põhjal tehti analüüsid ja järeldused.

Töö on jaotatud kolmeks osaks. Esimeses osas antakse ülevaade esimeste automatiseeritud tahhümeetrite ilmumisest, tänu millele sai võimalikuks neid eemalt juhtida ja üksinda prisma leida. Teises osas kirjeldatakse mõõtmisprotsessi, kasutatud seadmeid ja tehnoloogiate põhimõisteid. Kolmandas osas analüüsiti saadud tulemusi.

Antud uurimistöö küsimusteks olid:

- Millised on erinevate firmade tehnoloogiad ja seadmed, mida kasutatakse prisma kiirleidmisel?
- Millise tahhümeetri abil saab kõige parema tulemuse?
- Kas mõõtmiste kaugus mõjutab prisma otsimisele läinud aega või mitte?

Töö autor avaldab tänu juhendajale Harli Jürgenson bakalaureusetöö juhendamise eest ja Eesti Maaülikooli geomaatika osakonna õppejõule kvaliteetse õppe eest. Samuti tänab autor Top Geodeesia OÜ väga hea töökogemuse ja laenatud seadmete eest.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE JA METOODIKA

## 1.1. Automatiseeritud tahhümeetrite ajalugu

Tänapäevased automatiseeritud tahhümeetrid on üks arenenumaid ja täpsemaid mõõtmisvahendeid, mis geodeetiliste instrumentide turul saadaval on. Erinevalt muud tüüpi tahhümeetritest võivad automatiseeritud tahhümeetrid vähendada tavaliste toimingute tegemise aega, suurendades seeläbi töö tootlikkust ja kvaliteeti. Selline eelis on tagatud seadme robotosa(servomootor) tõttu. Servomootori abil oskab tahhümeeter iseseisvalt määrata oma asukoha ruumis, otsida sihtmärki ja sihtida seda. Lisaks sellele automatiseeritud tahhümeeter toetab ka välikontrolleri automaatset juhtimist. Sel viisil tehakse kogu töö üksinda. See vähendab ka pilli destobelisatsiooni ohtu ruumis, kuna instrumendi okulaari pole rohkem vaja käsitsi pöörata. (Heymans, 2020)

Esimesed tahhümeetrid, mis olid juba mõnevõrra sarnased tänapäevaste tahhümeetridega, loodi 60 aastat tagasi. Sel ajal üritas üks Rootsi füüsikutest nimega Erik Bergstrand leida parimat viisi valguse kiiruse määramiseks. Seega soovis ta luua uue süsteemi impulsside elektrooniliseks juhtimiseks, mis omakorda aitaks välja mõelda seadme, mis suudaks mõõta kaugusi. Pärast pikki uurimisi ja katsetusi õnnestus tal sellega siiski hakkama saada ning juba 1947. aastal sai ta oma seadmele patendi. (Schrock, 2017)

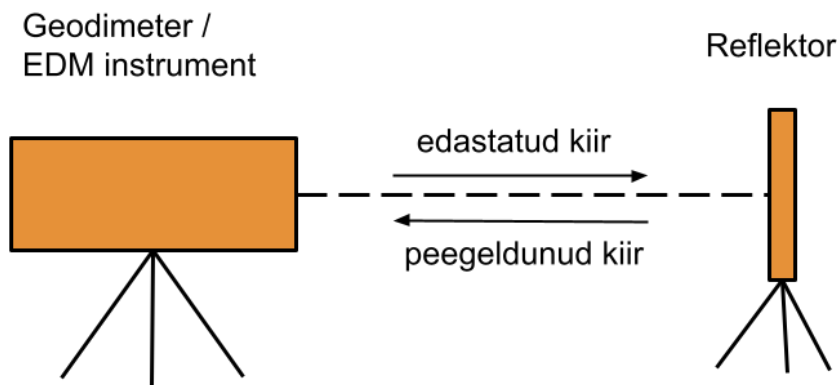
Aasta hiljem, 1948. aastal, esineb Erik Bergstrand Oslos rahvusvahelise geodeesia ja geofüüsika liidu konverentsil, kus ta demonstreerib publikule oma seadme prototüüpi. Pärast seda, samal aastal, märkab teda Rootsi ettevõtte AGA, mis oli tol ajal optiliste ja elektrooniliste süsteemide valdkonnas liider. Ta alustab temaga koostööd ja ostab temalt seadme patendi. Niisiis soovis ettevõtte luua maailma esimese kaubandusliku elektro-optilise kaugusmõõtja (EDM). (Schrock, 2017)

1953. aastal loob ettevõtte oma esimese kaugusmõõturi Geodimeter 1. Seadme kaal oli umbes 100 kg ja sellega sai mõõta 30–35 km kaugusel. Kuna esimeses mudelis kasutati valguskiirgurit, siis oli vaja mõõtmisi teostada pimedas, vastasel juhul olid andmed moonutatud. (Schrock, 2017)



**Joonis 1.1.1.** Geodimeter 1 (vasakul) ja lame peegel (paremal). (Trimble)

Väärib märkimist, et algselt kasutati helkuritena lamedaid peegleid, siis kerakujulisi peegleid ja alles siis ilmusid prismad. Kaugus arvutati edastatud ja peegeldunud valguskiire faaside erinevuse põhjal. (Smith,1998)



**Joonis 1.1.2.** Geodimeri/ EDM instrumendi tööprintsip.

Tulevikus hakkas ettevõtte oma seadmeid arendama, lisades üha rohkem uusi funktsioone. Nii ilmus 1957. aastal esimene ülitäpne raadio kaugusmõõtja, mis ületas varasemate mudelite parameetreid. Siiski jäi üks suur probleem, ükski seade ei suutnud mõõta vertikaalset ja horisontaalset nurka. (Smith,1998)

Seade, mis suutis selle probleemi lahendada, ilmus 1971. aastal ja see oli Geodimeter 700. Valgusallikaks hakati kasutama juba 1 mW He-Ne laserit. Ühe punkti mõõtmiseks kulus 10-15 sekundit. (Smith,1998)



Kolm aastat hiljem asendati geodimeeter 700 geodimeetriga 710-ga, mis sisaldas uut lisaseadet Geodat 700. Selline lisaseade oli ette nähtud mõõtmistulemuste automaatseks salvestamiseks perfolindile. (Smith,1998)

1986. ja 1991. aastat võib automatiseeritud tahhümeetrite väljatöötamisel pidada kõige olulisemaks. 1986. aastal võeti kasutusele geodimeeter 440, millest sai esimene sisseehitatud tarkvaraga tahhümeeter. Samuti sai võimalikuks kirjutada oma programme mõõtmiste tegemiseks ja välismällu salvestamiseks kasutades UDS programmi. 1990. aastal ilmus maailmas esimene sisseehitatud servomootoriga automatiseeritud tahhümeeter Geodimeter System 4000. Tänu sellele uuele tahhümeetrile ja ka operaatori sau külge kinnitatud täiendavale RPU seadmele, sai võimalikuks prisma otsimine ja jälgimine juhtides instrumendi üksinda. (Smith,1998)



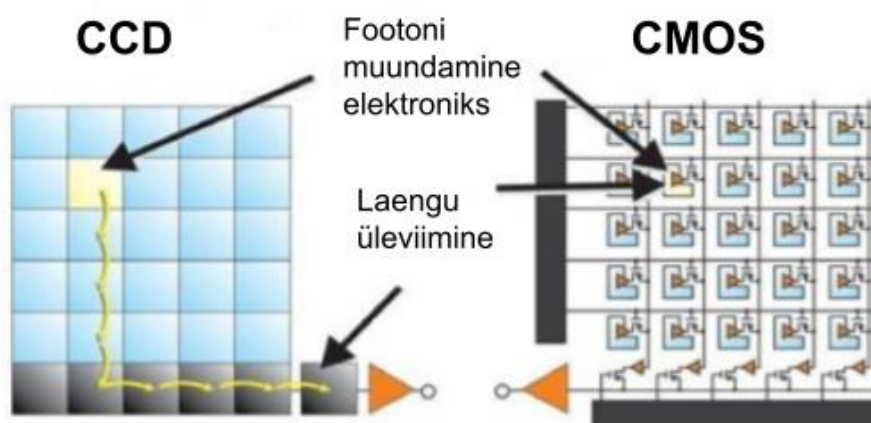
**Joonis 1.1.3.** Geodimeter System 4000 ja RPU 4000. (xyHt Magazine, 2017)

## 1.2. Automatiseeritud tahhümeetrite sidelahendused

Automatiseeritud tahhümeetrid on olnud kasutusel üle 30 aasta. Selle aja jooksul on välja töötatud ja juurutatud palju erinevaid sidelahendusi. Üks esimestest automatiseeritud tahhümeetritest, mis otsis prisma, mõõtis selleks prismast peegeldunud laserikiire tugevust. Selline lahendus võimaldas prisma leida ainult siis, kui see oli ligikaudu teadaolevates asendites. (Key ja Lemmens, 2008)

Tulevikus hakkasid tehnoloogiad paranema ja põhiülesandeks oli leida lahendus, et vältida kontakti kadumist prisma ja tahhümeetri vahel liikumise ajal. Samuti taheti leida ka lahendus prisma automaatseks leidmiseks, kui kontakt oli täielikult kadunud. Selle probleemi lahenduseks oli CCD ja CMOS sensorite juurutamine RTS-i. Selliseid sensoreid kasutatakse tänapäeval peaaegu kõigis kaasaegsetes tahhümeetrites. (Key ja Lemmens, 2008)

CCD kujutab endast maatriksit, millel ühtlaselt paiknevad valgustundlikud LED-id. See loodi eesmärgiga salvestada ja seejärel lugeda elektroonilisi laenguid, et lõpuks saada digitaalseid andmeid. CMOS erineb selle poolest, et iga piksel maatriksil on varustatud võimendiga ja sellel võib olla automaatne süsteem säriaja määramiseks. (Yambayev ja Staroverov, 2018)

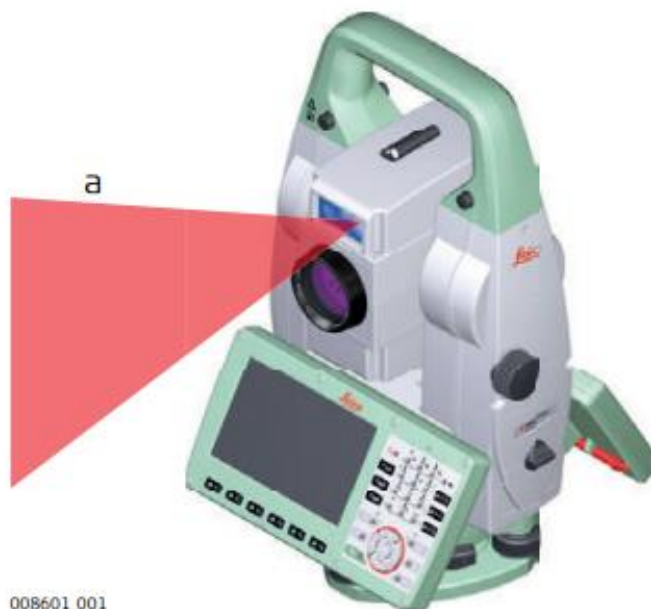


**Joonis 1.2.1.** CCD ja CMOS maatriksite põhiline erinevus. (Yambayev ja Staroverov, 2018)

Tänu nende maatriksite ilmunisele sai võimalikuks digitaalsete tehnoloogiate väljatöötamine geodeetiliste tööde edasiseks automatiseerimiseks. (Yambayev ja Staroverov, 2018)

Igal suurel geodeetiliste instrumentide tootval ettevõttel tänapäeval on omad lahendused. Näiteks, Leica Geosystems AG kasutab oma PowerSearch tehnoloogiat. See tehnoloogia on

nähtamatu laseriga tahhümeetrisse sisse ehitatud. Selle tehnoloogia kasutamisel väljub instrumendi objektiivist laser ning tahhümeeter hakkab pöörlema 360 kraadi oma telje ümber, et leida prisma kõigis võimalikes asendites. Seega saab seda tehnoloogiat tõhusalt kasutada ka olukorras, kus sõiduk möödub prisma ja instrumendi vahelt ning seejärel ühendus prisma ja tahhümeetri vahel kaob. (Key ja Lemmens, 2008)



**Joonis 1.2.2.** Leica TS16 ja temast väljuv infrapunakiir.

(Leica TS16 Руководство пользователя)

Topcon Positioning Systems, Inc. pakub omakorda seadet nimega Topcon RC-5. Seade kinnitatakse operaatori sauva külge. RC-5 kasutab infrapunakiirt, mis hakkab kiirgama, kui automatiseeritud tahhümeetri ja prisma vaheline kontakt on kadunud. Tahhümeetril on vahepeal suunaandur, mis püüab seda kiirt kinni püüda. Kui prisma leitakse, käivitatakse automaatne jälgimine. (Topcon Positioning Systems)

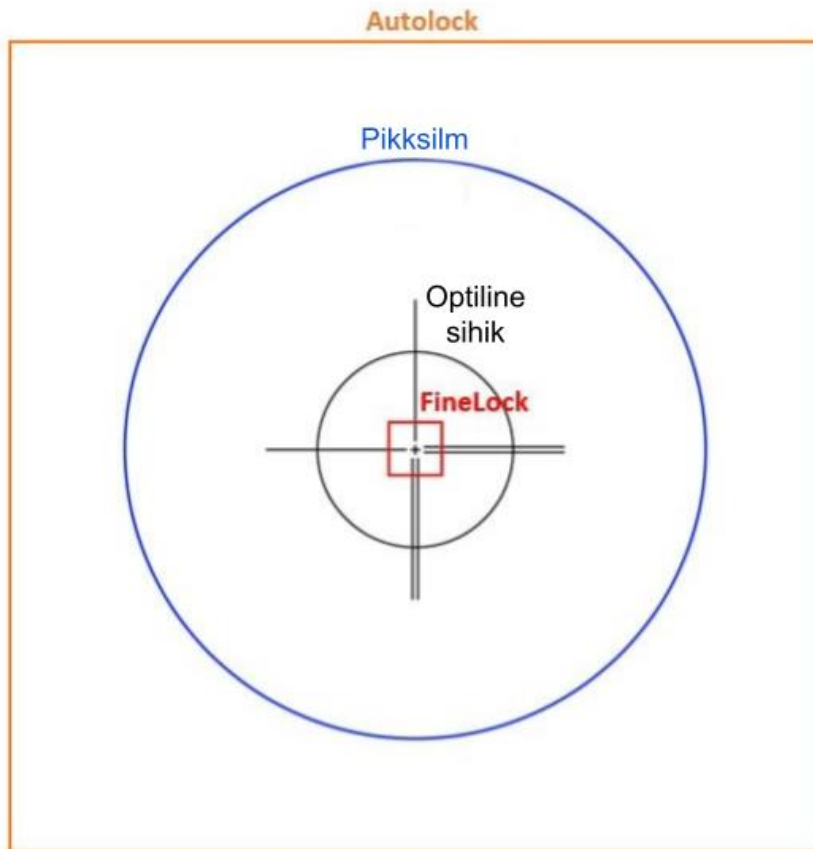


**Joonis 1.2.3.** Topcon RC-5. (Topcon Positioning Systems)

RC-5 seadme omadused vastavalt tootja andmetele:

- Side üle 600 meetri, kasutades LongLinki tehnoloogiat
- Saab kasutada mitme Topconi andmekogujaga
- 300 m jälgimine Quick Lock tehnoloogiaga
- Veekindlus- IP-55
- 40 tundi töötamist

Trimble Navigation, Ltd. kasutab oma tahhümeetrites Autolock ja Finelock tehnoloogiaid ning pakub ka nii nimetatud aktiivprismade kasutamist. Autolock tehnoloogia kasutamisel tuvastatakse ja haaratakse prisma, kui prisma asub tahhümeetri pikksilma vaateväljas mitte kaugemal kui  $2,1^\circ$  sihiku keskpunktist. Finelocki tehnoloogiaga on see vaateväli vaid  $0,14^\circ$ . (Karavanov, 2018)



**Joonis 1.2.4.** Autolock ja Finelock põhiline erinevus. (Karavanov, 2018)

Nagu varem oli mainitud, on ettevõttes olemas ka nii nimetatud aktiivsed prismad. Need prismad on MultiTrack ja Active Track 360 ning kasutavad nad Trimble Active Tracking tehnoloogiat. (Les, 2016)

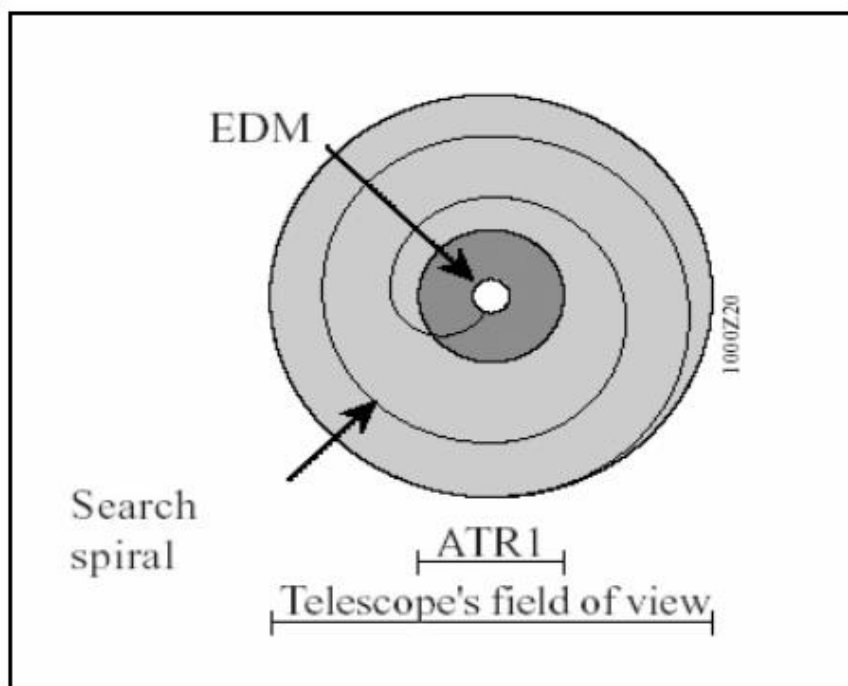
Active Track 360 prisma on silindriline kuju. Sellel prisma täielikult puudub klaas nagu tavalistel prismadel, selle asemel kasutatakse fooliumi ja ühte LED-rõngast, mis aitab tahhümeetril infrapunakiirguse abil prisma otsida. Seda saab kasutada ainult teatud Trimble automatiseeritud tahhümeetritega, kuhu lisaks sellele on installitud ka vajalikud programmid. (Les, 2016)

MultiTrack on kaks ühes prisma. Ülemine osa koosneb ümmargustest klaasidest, mida kasutatakse tavapäraistes prismades, alumine osa aga samadest LED-idest nagu Active Track 360-s. Võib öelda, et see teeb sellest nii nimetatud hübriidprisma, mis võib sobida juba igale Trimble automatiseeritud tahhümeetrile. (Les, 2016)



**Joonis 1.2.5.** Trimble Active Track 360 ja Trimble MultiTrack. (Les, 2016)

Kõik ülalnimetatud geodeetiliste instrumente tootvad ettevõtted kasutavad prisma tuvastamiseks ühte levinud tehnoloogiat. Seda tehnoloogiat nimetatakse ATR-ks (Automatic Target Recognition ehk automaatne sihtmärgi tuvastamine). Seda tehnoloogiat võib kirjeldada kui tehnoloogiat, mis tunneb ära signaale või pilte väga lühikese aja jooksul. Ta annab teavet sihtmärkide kohta, mida ta suutis ära tunda. (Indris ja Setan, 2009)



**Joonis 1.2.6.** ATR-i kontseptsioon. (Indris ja Setan, 2009)

Veel üheks oluliseks sidekanaliks võiks nimetada kaugleviga Bluetooth sidet (Long Range Bluetooth). Just kauglevi bluetooth või raadioside kaudu toimub kontroll ja andmete vahetus kontrolleri ja tahhümetri vahel. Kauglevi Bluetooth ei ole häiretele nii vastuvõtlik kui näiteks raadioside. Samuti pole tal vaja raadioantenni selleks, et suurendada signaali taset. Kauglevi Bluetoothi abil on võimalik tahhümeetrit juhtida mitmesaja meetri kauguselt.

### **1.3. Prismale suunamise meetodid**

Automatiseeritud tahhümeetrit on võimalik prismale suunata järgmiste tuntud meetodite abil:

- Manuaalne suunamine ehk käsitsi
- Suunamine väliarvuti abil, kasutades nooli (joystick)
- Suunamine GNSS vastuvõtja abil
- Infrapunakiirguriga suunamine, kasutades lisaseadet
- Suunamine Leica Powersearch-ga

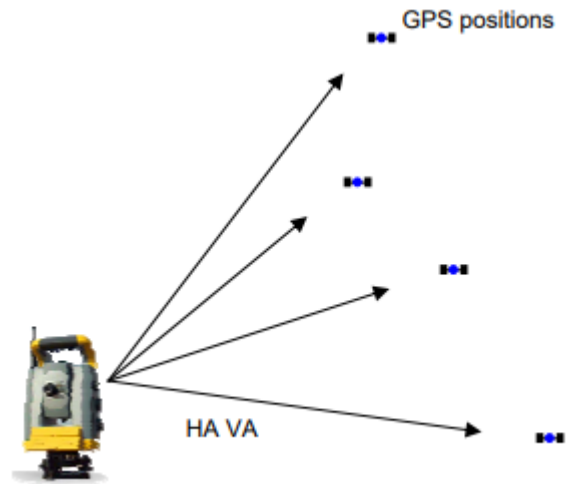
### **1.4. Integreeritud mõõtmine**

Integreeritud mõõtmine on üks mõõtmiste meetoditest, kus üheaegselt on kasutatud GNSS vastuvõtja ja automatiseeritud tahhümeeter (RTS). Selline mõõtmise meetod on väga mugav ja kiire, kui soovitakse alustada tööd ilma kindlate punktideta ning soovitakse töö kiirust suurendada.

### **1.5. GPS search**

Integreeritud mõõtmiste ajal on võimalik kasutada GPS search nuppu. GPS search võimaldab mõne sekundi jooksul määrata RTS-ga kontakti kaotanud prisma asukoha. Aktiveeritud GPS search funktsiooni tulemusena hakkab GNSS vastuvõtja edastama RTS-le oma asukoha täpseid koordinaate, seega pöörduv automatiseeritud tahhümeeter GNSS-vastuvõtja abil prisma poole. Seejärel prismat lukustatakse ja mõõtmisi saab jätkata. (Trimble Access help portal- GPS search)

GPS search-i täpsem tööpõhimõte on järgmine. Pärast seda, kui GNSS-vastuvõtja ja tahhümeeter on omavehel ühendatud, hakkab väliarvutisse sisseehitatud tarkvara pidevalt vastu võtma andmeid nii GPS satelliitide asukohtade kui ka tahhümeetri vertikaalsete ja horisontaalsete nurkade kohta. Kui GPS search funktsiooni aktiveeritakse, võrreldakse tahhümeetri ja satelliitide abil saadud nurki, mille tulemusel saab leida prisma täpse asukoha. (Trimble GPS search technology for the professional surveyor)



**Joonis 1.5.1.** Tahhümeetri ja GPS satelliitide nurkade kogumine. (Trimble GPS search technology for the professional surveyor)

## 1.6 Suunamine nooltega (joystick)

Prismale suunamine nooltega toimub kasutades väliarvuti nooli. Sellised nooled (joystick) võivad väliarvutis olla nii tavaliste nuppude kujul, mis asuvad ekraani lähedal, kui ka projitseeritud kujul väliarvuti ekraanil. Nende nuppude abil saab instrumenti pöörata nii vertikaalselt ja horisontaalselt kui ka mõnikord diagonaalselt.



**Joonis 1.6.1.** Trimble väliarvuti ekraanile projitseeritud joystick. (Trimble Access)

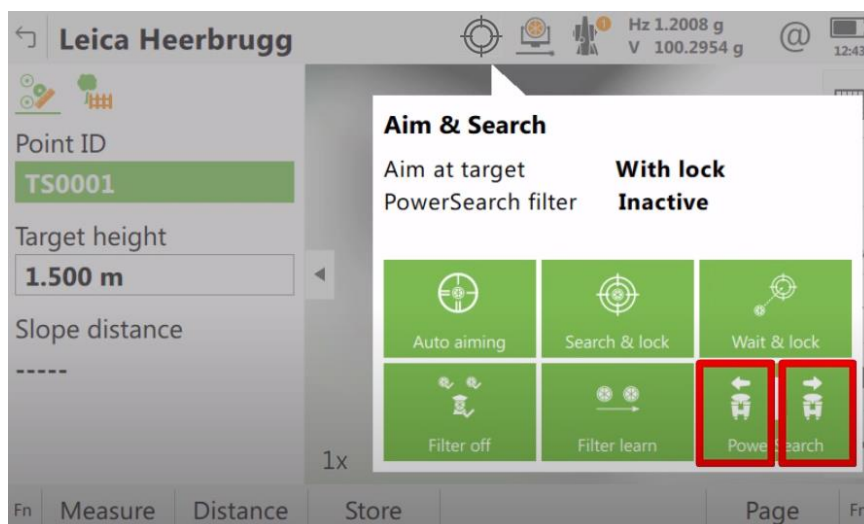




**Joonis 1.6.2.** Topcon FC-5000 väliarvutil olevad suunamise nooled.

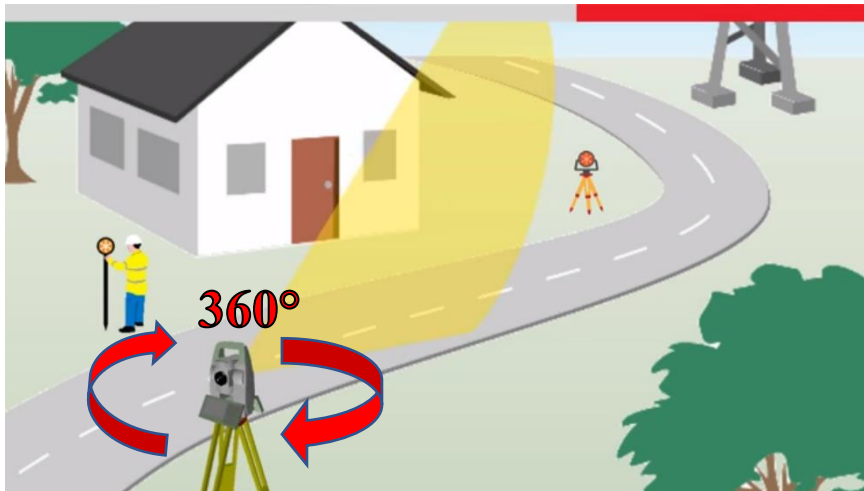
## 1.7. Suunamine Leica Powersearch meetodil

Leica Powersearch on Leica automatiseeritud tahhümeetrite hulgast üks oluline funktsioon. Kui funktsioon on käivitatud, hakkab instrument horisontaalselt ümber oma telje pöörlema, kiirgades vertikaalselt( $\pm 20^\circ$ ) laserkiirt. Operaatoril on võimalus valida, kummalt poolt ta otsinguid alustada soovib.



**Joonis 1.7.1.** Powersearch-i asukoht Leica väliarvutis.

(PowerSearch (Overview), 2016- ekraanipilt)



**Joonis 1.7.2.** Leica Powersearch-i tööprintsip.

(PowerSearch (Overview), 2016- ekraanipilt)

### **1.8. Suunamine Topcon RC-5 seadme abil**

Seadme Topcon RC-5 kasutamisel leitakse prisma loetud sekunditega. Selleks peab lihtsalt vajutama *search* nuppu, mis asub seadmel endal, ja siis pöörduv tahhümeeter ise prisma poole. Pärast prisma leidmist peaks seade andma piiksuva heli, mis annab teada sellest, et prisma on lukus. Nüüd saab mõõtmisi jätkata.



**Joonis 1.8.1.** Prisma leidmine kasutades Topcon RC-5 seadet. (Topcon RC-5 Demo, 2021- ekraanipilt )

## 1.9. Meetodi kirjeldus

Automatiseeritud tahhümeetriga prisma leidmiseks valiti kolm erinevat kaugust ja kolm erinevat tahhümeetri okulaari pöördenurka. Vahemaa automatiseeritud tahhümeetri ja prisma vahel oli: 2, 10 ja 25 meetrit. Tahhümeetri okulaari pöördenurkadeks valiti järgmisi suurusid:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ja  $180^\circ$ . Nende kauguste ja nurkade järgi viiakse läbi kiiruse mõõtmised. Kiiruse fikseeritamiseks kasutati tavalist stopperit. Igal ülalnimetatud vahemaal pöörati

tahhümeetri okulaar otseprismast ülalnimetatud kraadideni. Nii tehti iga kombineeritud paari jaoks, mis koosnes kaugusest ja horisontaalsest pöördenuurgast, kolm automaatsuunamise testi. Prisma leidmise meetodiks valiti integreeritud mõõtmine, kus prismat leitakse GNSS vastuvõtja abil.

Stopper alustas tööd hetkel, kui väliarvutis vajutati nuppu, mis vastutas prisma leidmise eest GNSS vastuvõtja abil. Stopper lõpetas tööd hetkel, kui väliarvutis ilmus vajalik ikoon, informeerides, et prisma on leitud ja lukus. Stopperilt saadud andmeid analüüsiti ja tehti järeldused. Võib öelda, et valitud mõõtmismetoodika on tegelikkusele väga lähedal.

## 2. MATERJALID JA TULEMUSED

### 2.1. Kasutatud instrumentid

Mõõtmistestid hõlmasid kahte tööriistakomplekti, üks oli Topconilt ja teine Trimblerilt.

Topconi instrumendid ja seadmed mida kasutati test mõõtmistes olid: automatiseeritud tahhümeeter Topcon GT Series; GNSS vastuvõtja Topcon Hiper SR; prisma Topcon ATP2 ja väliarvuti Topcon FC-5000. Topcon FC-5000 väliarvutis on väga intuitiivne Magnet Field tarkvara.



**Joonis 2.1.1.** Automatiseeritud tahhümeeter Topcon GT Series.



**Joonis 2.1.2.** Prisma Topcon ATP2. (Tiger Supplies)



**Joonis 2.1.3.** GNSS vastuvõtja Topcon Hiper SR. (Topcon Positioning Systems)



**Joonis 2.1.4.** Väliarvuti Topcon FC-5000. (Topcon Positioning Systems)

Trimble instrumendid ja seadmed, mida kasutati testimõõtmistes olid: automatiseeritud tahhümeeter Trimble S6; GNSS vastuvõtja R8s; prisma 360 Trimble ja väliarvuti Trimble TSC3. Väliarvuti Trimble TSC3 kasutusel on Trimble Access tarkvara.



**Joonis 2.1.5.** Automatiseeritud tahhümeeter Trimble S6. (AllTerra Central)



**Joonis 2.1.6.** GNSS vastuvõtja Trimble R8s. (AllTerra Central)





**Joonis 2.1.7.** Väliarvuti Trimble TSC3. (Geosoft OÜ)



**Joonis 2.1.8.** Prisma 360 Trimble. (Southgeosystems)



## 2.2. Automaatsuunamise testid

Esimesed mõõtmised tehti Topcon instrumentidega. Automaatsuunamise testide alustamiseks valiti avatud ala, kus puudusid takistused nii õhust kui ka maapinnalt. Sel viisil oli testide käigus võimalik minimiseerida võimalikke vigu. Satelliitidelt parima võimaliku signaali saamiseks ei tohiks GNSS-vastuvõtjat häirida sellised takistused nagu hooned ja puud. Samuti jälgiti, et prisma ja tahhümeetri vahel ei oleks ka takistusi.

Pärast asukoha valimist asusin tahhümeetrit orienteeruma. Erinevalt abiseadmetest, mis kasutavad prisma leidmiseks infrapunasignaali ja ei vaja instrumenti orienteerimist, peab valitud meetodis orienteerimist ikkagi tegema.

Kui instrument oli juba orienteeritud, siis sai võimalikuks juba automaatsuunamise testidega alustada. Prismat hakkati paigutama kordamööda erinevatel kaugustel tahhümeetrilt, kusjuures iga kaugust (2m, 10m ja 25m) ühendati instrumendi okulaari valitud pöördenurkadega ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ). Iga sellise kombineeritud paari jaoks mõõdeti stopperiga aega.



**Joonis 2.2.1.** Topcon GT Series ja otsitav prisma testi ajal (kaugus 25m, pöördenurk  $90^\circ$ ).

Kaugust prisma ja tahhümeetri vahel mõõdeti reaajas seadmel endal näidatud kauguse järgi (*slope distance*). Enne prismaotsingu nupule vajutamist tuli veenduda, et RTK signaali staatus oleks kindel, muidu võib tööriist vales suunas pöörata.



**Joonis 2.2.2.** 1) RTK signaali staatus. 2) Prisma leidmine GNSS vastuvõtja abil. 3) Prisma on lukus. 4) *slope distance*.

Täpselt samad mõõtmisteks ettevalmistamise etapid viidi läbi Trimble instrumentidega. Asukoha valik → tahhümeetri orienteerumine → RTK signaali kontroll → automaatsuunamise testiga alustamine.



**Joonis 2.2.3.** Trimble tööriistakomplekt automaatsuunamise testi ajal.

## **2.3. Tulemused**

Automaatsuunamise testide lõpus sain järgmised tulemused. Selgelt on näha, et kadunud prisma automaatseks leidmiseks kulub tahhümeetril sekundeid. Topcon tahhümeetril kõiguvad tulemused umbes 5 ja 12 sekundi vahel, sõltuvalt sellest, kui palju tahhümeeter oli valesti suunatud. 10 meetri kaugusel oli tahhümeetril isegi raskem prisma leida kui 25 m kauguselt. Trimble tahhümeetri puhul seda erievust nii väga esile ei tule. Selgelt on näha, et sõltuvalt tahhümeetri suunast prisma suhtes, tuleb arvestada ikkagi kuni 12 sekundilise ajaga. Samas, võrreldes sellega, kui kaua läheb aega nooltest tahhümeetri suunamisele prismale, on see ikkagi väga kiire. Nooltest suunamisel on ka see probleem, et kaugelt ei saa operaator aru, mis suunas on tahhümeeter hetkel suunatud. Ja siis läheb aega olukorra tuvastamisele. Samuti on nooltest väga raske tahhümeetrit vertikaalselt õieti suunata. Ka nooltest suunamisel peab kasutama automaatset otsimist, mis siin käivitus automaatselt.

**Tabel 2.3.1.** Automaatsuunamise testide tulemused.

| <b>Kombineeritud paar<br/>(kaugus ja pöördenurk)</b> | <b>Topcon GT Series<br/>ja Hiper SR (t)</b> | <b>Trimble S6<br/>ja R8s (t)</b> |
|--|---|----------------------------------|
| 2m ja 0°   | 6.31s                                       | 7.43s                            |
| 2m ja 0°   | 6.04s                                       | 8.89s                            |
| 2m ja 0°   | 7.02s                                       | 7.54s                            |
| 2m ja 90°  | 12.05s                                      | 13.41s                           |
| 2m ja 90°  | 11.95s                                      | 12.56s                           |
| 2m ja 90°  | 12.17s                                      | 12.59s                           |
| 2m ja 180°   | 12.43s                                      | 13.17s                           |
| 2m ja 180°   | 12.04s                                      | 13.63s                           |
| 2m ja 180°   | 12.69s                                      | 14.16s                           |
| 10m ja 0°  | 5.97s                                       | 7.73s                            |
| 10m ja 0°  | 6.13s                                       | 7.96s                            |
| 10m ja 0°  | 6.27s                                       | 8.58s                            |
| 10m ja 90°   | 6.08s                                       | 11.27s                           |
| 10m ja 90°   | 6.35s                                       | 10.23s                           |
| 10m ja 90°   | 7.90s                                       | 10.86s                           |
| 10m ja 180°  | 12.37s                                      | 12.68s                           |
| 10m ja 180°  | 13.11s                                      | 13.54s                           |
| 10m ja 180°  | 12.54s                                      | 13.41s                           |
| 25m ja 0°  | 5.88s                                       | 7.32s                            |
| 25m ja 0°  | 5.42s                                       | 6.54s                            |
| 25m ja 0°  | 5.39s                                       | 7.83s                            |
| 25m ja 90°   | 7.03s                                       | 11.76s                           |
| 25m ja 90°   | 6.10s                                       | 12.37s                           |
| 25m ja 90°   | 6.74s                                       | 11.42s                           |
| 25m ja 180°  | 6.08s                                       | 13.12s                           |
| 25m ja 180°  | 7.90s                                       | 12.55s                           |
| 25m ja 180°  | 6.35s                                       | 12.91s                           |
| <b>Keskmised</b>                                     | $\Sigma$                                    | $\Sigma$                         |
| <b>2m ja 0°</b>                                      | <b>6.46s</b>                                | <b>7.95s</b>                     |
| <b>2m ja 90°</b>                                     | <b>12.06s</b>                               | <b>12.85s</b>                    |
| <b>2m ja 180°</b>                                    | <b>12.9s</b>                                | <b>13.65s</b>                    |
| <b>10m ja 0°</b>                                     | <b>6.12s</b>                                | <b>8.09s</b>                     |
| <b>10m ja 90°</b>                                    | <b>6.78s</b>                                | <b>10.79s</b>                    |
| <b>10m ja 180°</b>                                   | <b>12.67s</b>                               | <b>13.21s</b>                    |
| <b>25m ja 0°</b>                                     | <b>5.56s</b>                                | <b>7.23s</b>                     |
| <b>25m ja 90°</b>                                    | <b>6.62s</b>                                | <b>11.85s</b>                    |
| <b>25m ja 180°</b>                                   | <b>6.78s</b>                                | <b>12.86s</b>                    |

## 2.4. ARUTELU

Automaatsuunamise testide tulemused näitasid, et Topcon GT Series ja Hiper SR said parema tulemuse kui Trimble S6 ja R8s. Tulemusi vaadates võib järeldada, et mida kaugemal prisma tahhümeetrist oli, seda kiiremini toimus leidmise protsess. Seda võib seletada asjaoluga, et pikkade kauguste korral jääb prisma ATR-i kõige kitsamasse piirkonda, samas kui lähedaste kaugustega võib prisma ajutiselt ületada ATR-i piiri. Samuti tasub märkida, et suurem pöördenurk andis halvima tulemuse.

Kõige kiirem fikseeritud tulemus oli 5.56s kombineeritud paaris 25m ja 0°. Seda näitas Topcon GT Series ja Hiper SR. Kõige aeglasem fikseeritud tulemus oli 13.65s kombineeritud paaris 2m ja 180°. Seda näitas Trimble S6 ja R8s.

## KOKKUVÕTE

Viimastel aastakümnetel arenevad geodeesia valdkonna tehnoloogiad ja seadmed meeletu kiirusega. Samuti suurendab jätkuvalt geodeetiliste instrumentide pakkumiste kasv turul. Geodeetiliste instrumentidega üksinda töötamine ehk eemaltjuhtimine muutub veelgi lihtsamaks ja kiiremaks. Üheks oluliseks nüansiks on see, kuidas eemltjuhtimisega tahhümeeter suudab kaotataud prisma uuesti üles leida. Varem kulus selleks palju aega. Tänapäeval on erinevad tootjad töötanud välja uue tehnoloogiad selle probleemi lahendamiseks. Siin töös on uuritud GNSS seadme abil kiirsuunamist, kasutusel on maailmas veel Leica PowerSearch tehnoloogia ja Topcon RC5 lahendus.

Antud uurimistöö eesmärgiks oli välja selgitada Topcon GT Series ja Trimble S6 tahhümeetrite prisma kiirleidmise võimalused. Meetodina on kasutatud nn GPS Search meetodit, kus tahhümeeter leiab prisma saua külge kinnitatud GPS abil. Pärast tahhümeetri orienteerimist on võimalik direktsioonnurkade vahe abil tahhümeetril prisma leida.

Automaatsuunamise testide käigus selgus, et automatiseeritud tahhümeeter Topcon GT Series tehnoloogiaga Hybrid Positioning oli prisma leidmisel kiirem kui Trimble S6 tehnoloogiaga GPS search. Vahed ei olnud küll suured, aga mõned sekundid siiski. Üldiselt oli näha, et mida kaugemal asus prisma tahhümeetrist, seda kiiremini suutis instrument seda leida. Samuti kehtis seos, et mida rohkem tahhümeeter oli ära pööratud, seda rohkem läks aega prisma leidmisega. Maksimaalseks otsimise ajaks Trimble tahhümeetri korral jäi 14 sekundit ja Topcon tahhümeetri korral 13 sekundit. Prisma leidmise ajad jäidki 5 ja 14 sekundi vahele, mis on rahuldav tulemus. Sellised ajad ei sega objektil töö jätkamist. Nooltest tehhaümeetri juhtimisel läheks oluliselt kauem aega. Samuti on sellisel juhul üldse kaugelt raske saada aru, mis suunas tahhümeeter on pööratud.

Miks Topcon kohati kiiremisi otsis kui Trimble, on raske seletada, mõlema tahhümeetri servokiirus on sarnane.

Töö autor leiab, et käesoleva uurimistöö teemat on võimalik edasi uurida ja täiustada tingimusel, et praktilistesse mõõtmistesse on kaasatud palju rohkem seadmeid ja

tehnoloogiaid. Kahjuks ei olnud kättesaadav Topcon RC5 seade, mis suudab enda poole suunata ka ilma tahhümeetri orienteerimiseta.

# KASUTATUD KIRJANDUS

**Heymans, E.** (2020). How do robotic total stations work? [veebileht] <https://www.bimplus.co.uk/explainers/how-do-robotic-total-stations-work/> (07.05.2021)

**Indris, M. & Setan, H.** (2009) Communication and database modules for automatic data acquisition. -*Geoinformation Science Journal*. Vol. 9, No. 1, 2009, pp: 1-10

**Karavanov, M.** (2018). Autolock или FineLock – что выбрать? [veebileht] <https://trimble.club/autolock-or-finelock/> (13.05.2021)

**Key, H. & Lemmens, M.** (2008). Robotic Total Stations [veebileht] Robotic Total Stations GIM International ([gim-international.com](http://gim-international.com)) (10.03.2021)

Leica Geosystems AG. Leica Captivate how to videos powersearch and powersearch filter. [veebileht] <https://leica-geosystems.com/> (14.05.2021)

**Les.** (2016). Multi-track prism technology explained [veebileht] <https://upgsolutions.com/index.php/2016/10/26/multi-track-prism-technology-explained/> (13.05.2021)

**Lemmon, T. & Loo, D., V., C.** Trimble GPS search technology for the professional surveyor. *Trimble Applications specialists, Westminster, Colorado, U.S.A.* [veebileht] [https://www.3dgeosolutions.hu/wp-content/uploads/2017/04/Trimble\\_GPS\\_kereses.pdf](https://www.3dgeosolutions.hu/wp-content/uploads/2017/04/Trimble_GPS_kereses.pdf) (12.05.2021)

**Schrock, G.** (2017). Behind the Big Eye of the SX10: Trimble, Danderyd, Sweden. [veebileht] <https://www.xyht.com/lidarimaging/behind-big-eye/> (07.05.2021)

**Smith, J., R.** (1998). The History of Geodimeter. Geodimeter 1947-1997. [veebileht] [http://www.geotronics.it/public/geodimeter\\_story.pdf](http://www.geotronics.it/public/geodimeter_story.pdf) (08.05.2021)



Topcon Positioning Systems. [veebileht] <https://www.topconpositioning.com/> (12.05.2021)

Trimble Access help portal- GPS search. [veebileht]  
[https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2019.00/en/GPS\\_Search.htm](https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2019.00/en/GPS_Search.htm)  
(14.05.2021)

**Yambayev, K., H. & Staroverov, V., S.** (2007). Features of photosensitive receivers charging communication and their opportunities in geodesy and metrology. [on-line] cyberleninka (12.05.2021)

**LISAD**

## Lisa 1. Topcon Hybrid Positioning Technology spetsifikatsioonid.

### HYBRID POSITIONING TECHNOLOGY

| Applicable Robotic Instruments                               |   |
|--|---|
| DS-AC+   | GTS-800                                   |
| GPT-8000   | GTS-900                                   |
| GPT-9000   | QS  |
| IS   | PS  |
| Applicable GNSS Receivers                                    |   |
| HPer SR  | HPer V                                    |
| HPer II  | GRS-1                                     |
| Tsuka RTK  |   |
| <small>GP Series is not recommended, based on weight</small> |   |
| Supported Field Controllers                                  |   |
| FC-800   | FC-2500                                   |
| FC-236*  | FC-336*                                   |
| Tsuka*   | Windows Tablets:<br>(Windows 7 or higher) |
| <small>* Includes an internal NMEA GPS connection</small>    |   |

#### Hybrid Positioning components

- MAGNET data collection software of Field, Field Site, or Field Layout
- Hybrid Positioning module
- GNSS prism adapter
- Topcon Robotic total station
- Topcon GNSS receiver



#### Hybrid Lock

- Turns the instrument toward the prism location
- Regain prism tracking
- Record more shots
- The ultimate in prism reacquisition



#### Hybrid Resection

- RTK coordinates for control
- Safe robotic location setup
- Geodetic coordinates
- Fast job site setup



#### Hybrid Switch

- User controlled
- Fast switch between GNSS or optical
- No need for new setup
- Easy one-touch switch



#### Auto-localization

- Automatic localization to geodetic coordinates
- Automatic satellite imaging as a background
- Multi-point localization
- Works with RTK positioning



For more information:  
[topconpositioning.com/hybrid](http://topconpositioning.com/hybrid)

Specifications subject to change without notice.  
©2018 Topcon Corporation All rights reserved.  
70190-2140 8/2/18



Lisa 2. Leica TS16 laseri spetsifikatsioonid.

1.6.6 PowerSearch PS

General

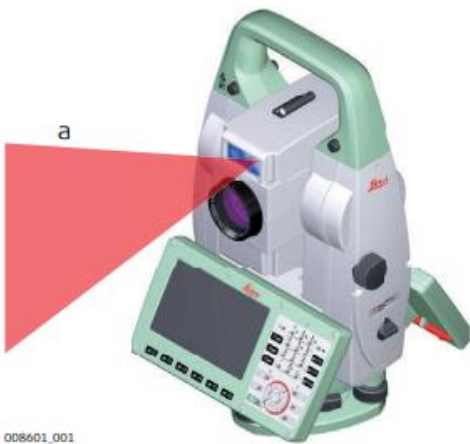
The PowerSearch built into the product produces an invisible laser beam which emerges from the front side of the telescope.

The laser product described in this section is classified as laser class 1 in accordance with:

- IEC 60825-1 (2014-05): "Safety of laser products"

These products are safe under reasonably foreseeable conditions of operation and are not harmful to the eyes provided that the products are used and maintained in accordance with this User Manual.

| Description                      | Value               |
|----------------------------------|---------------------|
| Wavelength                       | 850 nm              |
| Maximum average radiant power    | 11 mW               |
| Pulse duration                   | 20 ns, 40 ns        |
| Pulse repetition frequency (PRF) | 24.4 kHz            |
| Beam divergence                  | 0.4 mrad x 700 mrad |



008601\_001

a) Laser beam

## **Lihtlitsents.**

### **Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Artjom Nikolajev,

sünniaeg 18.04.1998,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Prisma kiirleidmine tahhümeetri eemaltjuhtimisel, mille juhendajaks on Harli Jürgenson,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse  
tähtaja lõppemiseni;

1. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

2. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

Tartu, 2021

---

### **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)